

**Baliberdin Valery Alekseevitch** – 3 Central Defence Institute; e-mail: baliberdinv@yandex.ru; 10, Poronny, Moscow, Russia; dr. of eng. sc.; professor; science worker.

**Stepanov Oleg Alekseevich** – e-mail: stepoleg@post.ru; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 004.891

**Е.В. Корохова, И.С. Шабаршина, А.В. Петракова, А. С. Санина**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ВЫБОРА АВТОНОМНОЙ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ**

*В условиях многообразия видов теплогенерирующего оборудования, представленного на рынке, неопределенности или нечеткости требований заказчика задача выбора эффективной системы отопления здания рассматривается как многокритериальная и слабоструктурированная, для решения которой должны использоваться современные интеллектуальные методы и системы. Основные критерии, влияющие на выбор отопительной системы, отражают следующие требования потребителей: качество получаемого тепла; затраты на создание и эксплуатацию системы; назначение и характер использования помещения и др. Возрастает востребованность экологически чистых технологий и эргономичных конструктивных решений, повышается интерес к практическому использованию альтернативных источников энергии. Строительные компании предлагают клиенту различные альтернативы реализации теплогенерирующей системы, однако выбор конкретного варианта зачастую производится лишь на основании личного опыта сотрудников данной компании. Поэтому задача создания экспертной системы для поддержки принятия решений по выбору эффективной теплогенерирующей системы является актуальной. Рассмотрены основные этапы разработки экспертной системы на основе производственной модели: на основе проведенного анализа существующих теплогенерирующих систем, используемых видов топлива, требований заказчика и экспертных мнений определено множество возможных вариантов систем; формализованы критерии оценки альтернатив; разработан алгоритм выбора наилучшей альтернативы, построено дерево решений, на основе которого реализован прототип экспертной системы. Научная ценность работы заключается в разработке алгоритма многокритериального выбора автономной отопительной системы на основе построенного дерева решений. Практическую ценность исследования составляют: результаты анализа отопительных систем, позволивших сформировать множество критериев, однозначно определяющих эффективный вариант автономной отопительной системы; демонстрационный прототип экспертной системы, реализующий предложенный алгоритм; дерево решений для выбора эффективной автономной отопительной системы. Предлагаемая экспертная система может быть использована проектными, строительными организациями и частными лицами для принятия решений на основе многокритериального выбора эффективной автономной теплогенерирующей системы.*

*Теплогенерирующая система; экспертная система; дерево решений; моделирование; принятие решений.*

**E.V. Korohova, I.S. Shabarshina, A.V. Petrakova, A.S. Sanina**

### **MODELING AND CONSTRUCTION OF THE ALGORITHM TO SELECT AUTONOMOUS HEAT PRODUCING SYSTEM**

*Regards to the variety of heat producing equipment at the market, uncertainties of the customer's requirements, the problem of selecting the effective heat producing system is analysed as a multiobjective or ill-defined problem. In this case, Modern Smart Methods or Systems should be used to solve the problem. The main criteria, which have an impact on the selection of the heating system, include the following customer's requirements: quality of the heat received, production and implementation costs, purposes and the nature of the used building etc. There appear a demand of using environmentally friendly technologies and ergonomic structural solutions, and also, the more focus is done to the implementation of alternative energy sources. The greater number of construction companies offer*

*different options of the heat producing systems, however, the choice of the specific structure is essentially made on the basis personal experience of the company staff. Thus, the problem of creating an expert system to select the optimal heat producing systems is the main issue. The main stages of developing the expert system on the basis of production model, such that: on the basis of the carried out analysis of the existed heat producing systems, types of fuel applied, customer's requirements and expert assessments of the specific structures of the system, are presented in the article. Assessment criteria of the structures have been developed; created an algorithm of selecting the best structure; realized the decision tree, on the basis of which was designed the prototype of the expert system. The main importance of the research is in the Algorithm development of the multiobjective choice of the autonomous heating system and the corresponding decision tree are the main important values of the scientific work. The practical values of the research are: results of the analysis of the heat producing systems, provided to develop the list of criteria, which exactly defined the optimal structure of the heating system; simulation model of the expert system, realizing the proposed algorithm; the decision tree for selecting the optimal autonomous heating system. The suggested expert system may be implemented in the design, construction organisations as well as individuals to make a decision based on the multiobjective selection of the optimal autonomous heat producing system.*

*Heat producing system; expert system; decision tree; modeling, decision making.*

Развитие технологий в области строительства и энергообеспечения зданий является следствием изменения отношения людей к окружающей среде. Мониторинг задач этой проблемы показывает, что наиболее важным звеном в ее решении является рациональное использование тепловой энергии. В последнее время для отопления помещений используют различные виды традиционных теплогенерирующих установок и систем на их основе. Наблюдаемый дефицит ресурсов заставляет искать новые источники тепловой энергии, такие как солнечные коллекторы, геотермальные установки и многие другие. Добиться максимального энергосбережения при использовании систем отопления возможно применением таких приборов и устройств, которые будут оптимальными по затратам, создавать комфортные условия, а также иметь возможность дистанционного управления обогревом.

Задача выбора эффективной отопительной системы в условиях широкого спектра предлагаемых технологий и оборудования [1–7, 10], многообразия характеристик зданий, а также зачастую размытых пожеланий заказчика является слабоструктурированной и весьма актуальной. Одним из путей решения данной задачи является создание экспертной системы (ЭС), которая при помощи накопленных знаний опытных проектировщиков и строителей может помочь сделать выбор на основе слабоструктурированных данных.

Целью данной работы является повышение эффективности принимаемых решений путем моделирования и разработки экспертной системы, позволяющей решить слабоструктурированную задачу многокритериального выбора автономной теплогенерирующей системы. Задача состоит в следующем. На основе анализа существующих видов теплогенерирующих систем и вариантов их технического воплощения, а также обобщения опыта их практического применения необходимо разработать экспертную систему ЭС:  $(P, X, T)$ , где  $P$  – конечный набор правил,  $X$  – конечное множество фактов (значений атрибутов-характеристик теплогенерирующих систем, позволяющих выделять классы подобных систем),  $T$  – варианты автономных теплогенерирующих систем, позволяющей на основе набора значений характеристик систем и требований заказчика выбрать наилучший вариант.

Решение поставленной задачи включает следующие этапы:

1) анализ и классификация автономных систем отопления – определение множества вариантов систем отопления  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_i\}$ , характеризуемых множеством атрибутов  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ , образующих множество классов систем  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ ;

2) объектно-ориентированное моделирование структуры и алгоритмов функционирования экспертной системы;

3) разработка алгоритма выбора эффективной автономной отопительной системы;

4) разработка дерева решений, позволяющего на основе конечного множества атрибутов  $X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  однозначно определить вариант автономной отопительной системы  $T_i$ ;

5) разработка экспертной системы, включающей конечный набор правил  $P=\{P_1, \dots, P_m\}$ , позволяющих на основе построенного дерева решений осуществить выбор эффективной теплогенерирующей системы  $T_i$  с учетом множества критериев  $X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ .

На первом этапе проведен анализ и классификация существующих видов теплогенерирующих систем [1–7], представленная на рис. 1, выявлены следующие основные признаки классификации: тип источника нагрева, тип теплоносителя, тип теплогенерирующего устройства, вид циркуляции теплоносителя, радиус действия, режим работы, гидравлический режим.

При классификации систем отопления по типу источника нагрева можно выделить несколько наиболее популярных: широким спросом пользуются газовые котлы, поскольку газ является относительно недорогим теплоносителем. Но данные котлы имеют ряд недостатков, таких как взрывоопасность и легкая воспламеняемость газа. Зачастую существует множество факторов, не позволяющих использовать этот вид топлива, начиная от стоимости подключения, отсутствия необходимого давления в магистральной трубе или отсутствия возможности подключения к магистральному газу. Также широко распространено применение электрических котлов. Стоимость таких систем значительно ниже, чем газовых и жидкотопливных, и для установки электрического котла не требуется отдельного специально оборудованного помещения. При этом существенным недостатком котлов данного типа являются большие эксплуатационные затраты, определяемые высокой стоимостью электрической энергии.

Дизельные системы в основном применяются для отопления зданий там, где нет магистрального газа. Преимущества данного типа котла заключаются в том, что солярка значительно менее опасна, чем магистральный или сжиженный газ, гораздо меньше по сравнению с электрическими котлами потребление электроэнергии. Главный недостаток котлов данного типа – высокие эксплуатационные расходы (солярка является вторым по стоимости топливом после электроэнергии – в пересчете на киловатт-час, производимой котлом тепловой энергии).

Твердое топливо (дрова, уголь, брикеты) намного выгоднее дизельного. Твердотопливные котлы являются энергонезависимыми и по сравнению с дизельными агрегатами котлы на твердом топливе имеют более приемлемые экологические характеристики. Однако для их обслуживания требуется большое помещение с низкой влажностью для хранения дров. Пеллетные котлы, являющиеся разновидностью котлов на твердом топливе, предназначены для сжигания древесных топливных гранул (пеллет). Цена на пеллетные котлы несколько выше, чем на обычные твердотопливные, но их преимущества легко уравновешивают этот недостаток. Ключевые особенности котлов на пеллетах: автоматическая подача топлива, высокий КПД (до 93 %), низкие эксплуатационные затраты и высокая степень автоматизации. Благодаря тому, что топливо подается автоматически, пеллетные котлы отопления могут работать в автономном режиме на одной заправке от 7 до 30 дней (в зависимости от объема топливного бункера). Таким образом, пеллетное отопление является наилучшей альтернативой газовому, дизельному или электрическому [1]. Учитывая, что пеллетные котлы выпускаются мощностью от 15 кВт, оптимальная площадь здания для отопления пеллетным котлом составляет от 120 до 170 м<sup>2</sup>. Для отопления помещений и оформления интерьера подхо-

дид также пеллетный камин. Современный рынок изобилует различными вариантами устройства. Изделия изготавливают из качественного листового железа и чугуна [2]. Достоинства пеллетного камина заключаются в наличии функций автоматической подачи топлива, возможности настройки мощности очага, расписания его включения и выключения. Коэффициент полезного действия достигает 85 % (у дровяных – до 40 %). Существуют модели с водяным контуром, которые можно подключать к радиаторам отопления. Еще одним достоинством является безопасная работа камина (пеллеты чаще горелки перед выключением очага полностью сгорают). Небольшие габариты позволяют установить пеллетный камин в любом помещении. К недостаткам можно отнести цену, которая несколько выше цены традиционных моделей, а также тот факт, что очаги работают только на пеллетах и только при подключении к электросети.

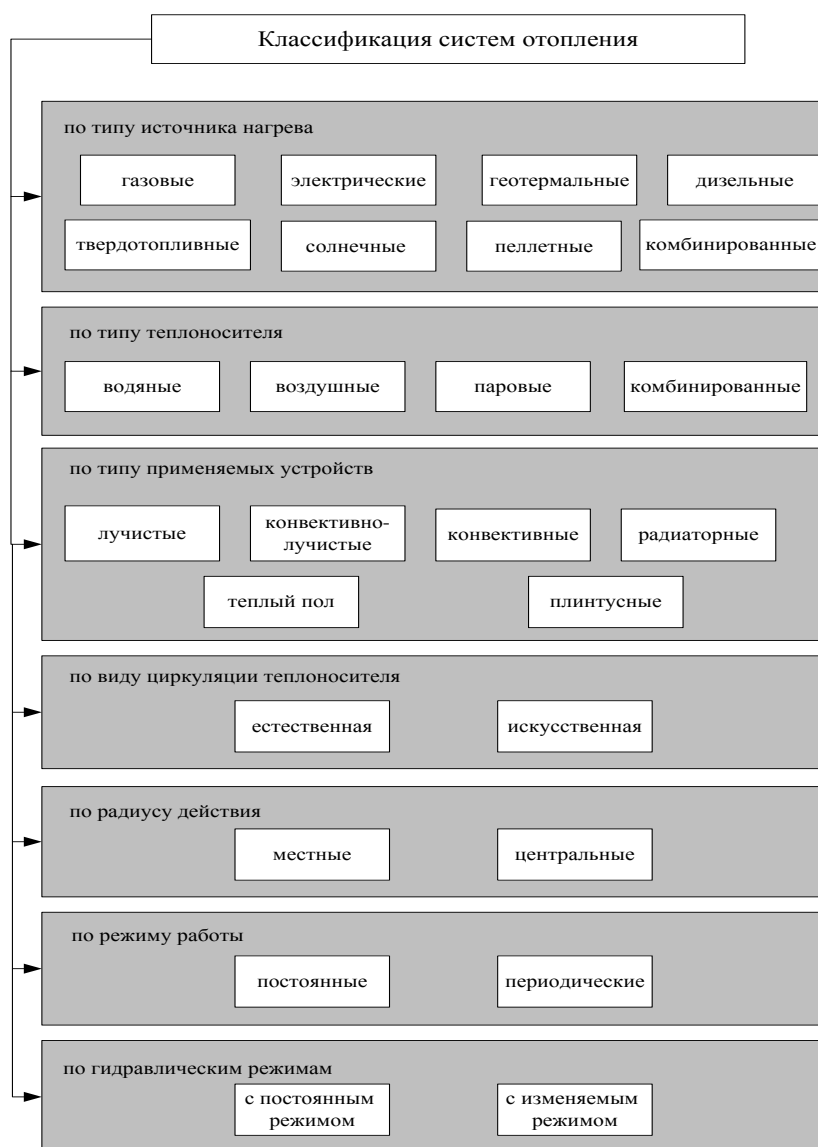


Рис. 1. Классификация систем отопления

Комбинированные системы отопления (на основе комбинированных котлов) имеют возможность работать последовательно на нескольких видах топлива: на природном или сжиженном газе, дизельном топливе, на дровах или на электричестве. Комбинация видов топлива может быть различной. Недостаток таких систем отопления – высокая стоимость и номинал мощности до 70 кВт [3].

Солнечные системы теплоснабжения предназначены для эффективного преобразования солнечной энергии в тепловую и нагрева воды. Такая система обычно состоит из солнечного термального коллектора, системы хранения воды, системы контроля и насосной системы. Использование солнечной радиации в качестве тепловой энергии, позволяет экономить энергию до 80 % [4].

Геотермальные системы отопления используют естественное тепло земли. Данная система работает с помощью геотермального насоса, который генерирует тепловую энергию. Наиболее подходящими источниками отбора низкопотенциального тепла для работы тепловых насосов являются теплота ниже уровня сезонного промерзания и теплота водоемов и природных водных потоков [4].

Подробнее рассмотрена классификация систем отопления по типу теплоносителя. Водяное отопление – способ отопления помещений с помощью жидкого теплоносителя (воды или антифриза на водяной основе). Передача тепла в помещение производится с помощью радиаторов, конвекторов, регистров труб. В отличие от парового отопления, вода находится в жидком состоянии и, следовательно, имеет более низкую температуру, благодаря чему водяное отопление более безопасно. Однако радиаторы для водяного отопления имеют большие габариты, чем для парового. Кроме того, при передаче тепла с помощью воды на большое расстояние температура значительно падает. Поэтому часто делают совмещенную систему отопления: от котельной с помощью пара тепло поступает в здание, где с помощью теплообменника передается воде, которая уже поступает к радиаторам.

В системах водяного отопления циркуляция воды может быть как естественной, так и искусственной. Системы с естественной циркуляцией воды просты и относительно надежны, но имеют невысокую эффективность, которая зависит от правильного проектирования системы. Недостатком водяного отопления также являются воздушные пробки, которые могут образовываться после спуска воды при ремонте отопления. Для борьбы с ними устанавливаются специальные спусковые клапаны. Перед началом отопительного сезона с помощью этих клапанов выпускается воздух благодаря избыточному давлению воды.

Следующим после водяных систем по распространенности вариантом отопления дома является электрический обогрев помещений. Основное преимущество таких систем – быстрый, бесшумный, экологически чистый и удобный регулируемый нагрев помещений. Но в ряде случаев требуются довольно высокие затраты на потребление электроэнергии. Такие системы могут использоваться как в виде основного источника обогрева, так и дополнительного для формирования в доме с действующей системой отопления максимально возможного комфорта [6].

Одними из наиболее популярных стали следующие системы электрического отопления [5]:

- ◆ кабельное электрическое отопление, где используется электрический кабель, уложенный в стяжку пола и электронный термостат, задача которого – работа по конкретной заданной программе для поддержания нужной температуры. В процессе работы системы, покрытие пола нагревается равномерно, что позволяет ходить даже босиком. Нагретый воздух от пола поднимается вверх, заполняя все помещение. Часто такие устройства используются в ванных комнатах;

- ◆ нагревательный мат, который является усовершенствованной системой кабельного теплого пола, представляющей собой греющий кабель, который расположен змейкой на специальной монтажной стеклосетке. Мат более удобный в монтаже по сравнению с классическим греющим кабелем. Установленные в каждом отдельном помещении терморегуляторы позволяют делать регулировку обогрева автономно, что помогает сэкономить средства на электроэнергию;
- ◆ пленочная инфракрасная система отопления. Пленочные нагреватели изготовлены из двухслойного полимера с углеродным элементом внутри. Во время прохождения электрического тока происходит излучение инфракрасных лучей, которые являются безопасными, эффективными и комфортными для человека. Во время работы нагревается пол, предметы обстановки и стены. Для управления системой применяют различные терморегуляторы. Инфракрасное отопление очень экономично и имеет высокий КПД, достигающего более 95 %. Возможна установка системы не только в конструкции пола, но и под линолеумом, а также в конструкции потолка или стен.

Менее популярным является паровое отопление, в котором теплоносителем является водяной пар. Такой тип отопительной системы применяется в промышленных помещениях, его редкое использование в жилых помещениях связано с опасностью для человека в случае прорыва трубопроводов или батарей.

Воздушное отопление помещений в основном устанавливается в конструкции стен, полов, потолков каркасных зданий на стадии строительства. Источником тепла является котел. От него теплый воздух при помощи вентилятора, встроенного в котел, подается по системе воздуховодов в помещения и через другие воздуховоды возвращается обратно для следующего нагрева. Включение в систему воздушного отопления дополнительного климатического оборудования позволяет использовать ее в летний сезон в качестве кондиционера. Известно, комфортная температура воздуха в помещении должна находиться в диапазоне от 22 до 24 °С при относительной влажности – от 35 до 55 % и достаточном содержании кислорода. При создании такой отопительной системы должна быть обеспечена подвижность воздуха, но при этом необходимо избежать сквозняков. В настоящее время воздушное отопление с успехом применяется для обогрева промышленных, торговых и складских помещений большого объема. Основным достоинством при этом является отсутствие в системе жидкого теплоносителя. Таким образом, система полностью защищена от протечек, разморозки, коррозии. Затраты на обустройство и эксплуатацию системы воздушного отопления, как правило, существенно ниже, чем аналогичные затраты для водяной системы.

Далее рассмотрена классификация по типу применяемых устройств. Лучистое отопление (или инфракрасное отопление) – относительно новая для России технология, ставшая доступной массовому пользователю всего несколько лет назад. На сегодняшний день отопительные системы на базе излучающих панелей не имеют аналогов не только по теплотехническим, но и по экономическим и экологическим параметрам.

Принцип действия инфракрасных панелей (или ИК-панелей) отличается от традиционных конвективных обогревателей, в которых нагрев осуществляется за счет движения воздушных потоков. ИК-панели отопления излучают длинные тепловые волны, примерно соответствующие солнечным в инфракрасной части спектра, которые обогревают только поверхности, находящиеся непосредственно в поле их действия. Это означает, что собственно температура воздуха в помещении, отапливаемом лучистым длинноволновым обогревателем, может быть относительно низкой, а комфортное ощущение тепла обеспечивается за счет теплового излучения, попадающего на открытые участки кожи. Инфракрасное отопление может успешно использоваться как в жилых, так и в производственных помещениях [6].

Номинальный коэффициент полезного действия (КПД) ИК-систем отопления существенно выше, чем у конвективных обогревателей: 90 % против (в лучшем случае) от 60 до 70 %. Преимущество лучистых обогревателей в том, что они греют не кубические, а квадратные метры, не объемы, а поверхности. Это означает, что ими прогревается только та часть пространства, в которой находятся люди. Очевидно, что чем выше потолки в помещении, тем заметнее оказывается экономия. В среднем же экономия при использовании ИК-отопления составляет от 30 до 65 % по сравнению с традиционными конвективными системами [6].

В конвективном отоплении используется конвектор, который работает по принципу физического явления, которое называется конвекцией, то есть циркуляция воздуха естественным путем. Конвектор представляет собой автономную систему отопления, использование которой убирает необходимость монтажа самой системы отопления. Существует два типа конвекторов – газовый и электрический. Конвективные системы отопления предусмотрены как с естественным теплообменом (самый простой вид конвекторов – настенная панель), так и с принудительным обдувом, к ним относятся тепловентиляторы, тепловые пушки, теплогенераторы с теплоносителем (вода и пар). К их плюсам можно отнести универсальность и высокую степень эффективности для помещений с невысоким потолком. Применяя это оборудование можно не только отапливать, но и вентилировать помещение.

Радиаторное отопление – наиболее распространенный тип отопления помещения. Принцип работы радиаторной системы отопления довольно прост: нагреваемая до требуемой температуры вода из котельной установки поступает в помещения по трубам, далее она подается в отопительный прибор – радиатор, который и нагревает воздух в помещении. Обычно в традиционных отопительных системах (конвективное отопление – воздушное, радиаторное) температура воздуха у потолка значительно больше, чем у пола, потому что более теплый воздух поднимается вверх, это приводит к неравномерному распределению температуры по высоте и большим потерям тепла в районе крыши. Поэтому при проектировании в зависимости от высоты помещения увеличивается мощность оборудования.

Еще один распространенный вид отопления – теплый пол. В отличие от радиаторов, теплый пол не создает конвекции. Он прогревает воздух в помещении над всей поверхностью пола. В районе пола воздух теплее, чем у потолка. Это идеальное, с точки зрения комфорта и самочувствия, распределение температуры воздуха внутри помещения: 22 °С – на уровне ног и 18 °С – на уровне головы. Низкая температура теплоносителя – еще одно отличие системы напольного отопления от традиционных радиаторных систем. Водяные теплые полы чаще всего используются в частных домах и квартирах без централизованного отопления. Существует также подобная инновационная система отопления – теплый плинтус, благодаря которому вдоль стен и окон создается «тепловой экран», препятствующий оттоку тепла. В результате при помощи равномерного распределения тепла по высоте и периметру помещения и отсутствия активной конвекции создается комфортный микроклимат для человека. Конструктивно данная система состоит из теплообменного греющего модуля, состоящего из двух медных труб с насаженными на них ламелями (пластинами) и закрытого внешним разборным алюминиевым коробом [7].

Обеспечение надежности системы отопления и минимизация затрат на энергию для ее функционирования являются наиболее важными параметрами для обеспечения эффективности системы отопления. Также необходимо определить совокупность технико-экономических факторов [8] и их взаимосвязи для формирования альтернативных вариантов для выбора теплогенерирующей системы. Созданная когнитивная карта (рис. 2) отражает взаимозависимость данных факторов [9].

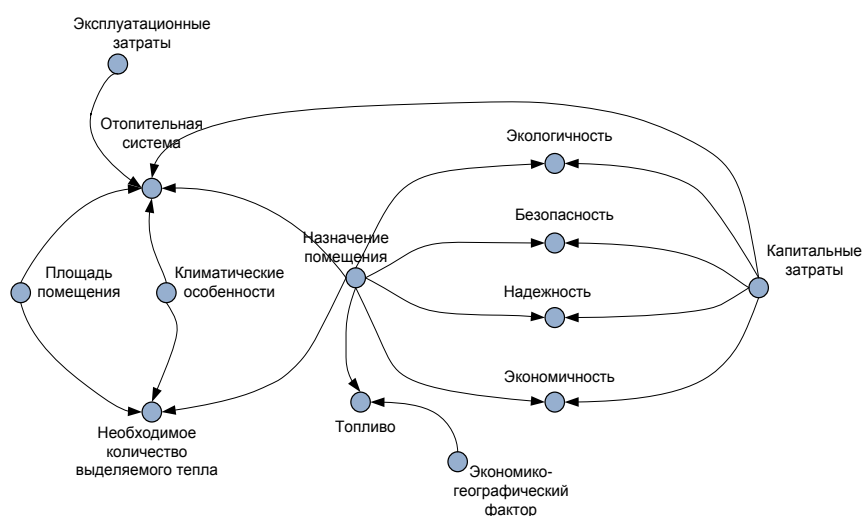


Рис. 2. Основные показатели, влияющие на выбор эффективной системы отопления

Выбор автономной системы отопления основывается на определении параметров помещения (назначение, площадь, местоположение), анализе рынка и формировании альтернативных вариантов по следующим показателям: экономичность, надежность, экологичность и безопасность. Для определения эффективной системы отопления в соответствии с различными факторами, приведенными на рисунке 2, необходимо также учитывать затраты на топливо, условия его хранения и уровень безопасности. В табл. 2 представлены результаты сравнительного анализа различных видов топлива [10]. В зависимости от назначения помещения меняется важность показателей [9].

Исходя из полученных данных, дизельное топливо является наиболее пожароопасным и взрывоопасным. Такие виды топлива, как уголь, дрова и пеллеты требуют отдельных складских помещений для хранения, что будет невозможно реализовать в малых помещениях.

На следующем этапе разработки экспертной системы определены ее основные функции и представлены в виде диаграммы вариантов использования (рис. 3). На основе данной модели требований и анализа существующих типов экспертных систем принято решение использовать продукционную модель. Далее разработан обобщенный алгоритм выбора из множества допустимых вариантов наилучшей альтернативы теплогенерирующей системы для отопления здания с учетом наиболее важных критериев для конкретной задачи. Для определения требуемых параметров системы необходимо получить от заказчика комплекс данных, в который будут входить характеристики помещения, наличие коммуникаций, климатические данные, планируемые капитальные затраты и др. [10].

Затем необходимо сформировать множество Парето-оптимальных альтернатив, то есть лучших вариантов отопительных систем для тех или иных параметров. Из этого множества альтернатив необходимо выбрать лучшую, либо несколько альтернатив с помощью дополнительных критериев или методик [8].



Таблица 2

Вид топлива	Преимущества	Недостатки
Дрова	экологическая чистота; относительная дешевизна; доступность; эстетическая ценность; возможность вторичного использования; отсутствие дополнительных горелок и, следовательно, необходимости их обслуживания; безопасность.	относительно большая площадь для хранения; необходимость предварительной заготовки; относительно высокая зольность.
	<i>Невозможно автоматизировать</i>	
Уголь	относительная дешевизна; теплотворная способность выше, чем у дров; удобство (отсутствие дополнительных горелок); трудно воспламеняется, не взрывается.	необходимость специальных складских помещений; экологически менее чистый вид топлива, чем дрова; высокая зольность; наличие определенных навыков в использовании; отсутствие эстетической ценности; поставщики – предприятия, в большинстве дотируемые государством.
	<i>Невозможно автоматизировать</i>	
Дизельное топливо	в два раза большая теплотворность, чем у дров.	необходима установка емкости и магистрали для дизельного топлива; экологически опасный вид топлива; неизбежно наличие запаха; легко воспламеняющаяся жидкость, опасность взрыва; поставщик – нефтеперерабатывающие заводы России.
	<i>Возможно использовать автоматизированные системы</i>	
Газ	экологическая чистота; дешевле дизельного топлива, электричества, но дороже дров и угля; относительная доступность; отсутствие необходимости заготовки и складирования, относительная безопасность использования; небольшой объем продуктов сгорания; отсутствие зольности.	необходимость устройства и обслуживания горелок и магистрали; безопасность использования значительно ниже, чем у дров; – легко воспламеняется, и взрывоопасен; поставщик – по России монополист ГАЗПРОМ.
	<i>Возможно использовать автоматизированные системы</i>	
Электроэнергия	экологическая чистота; отсутствие продуктов сгорания.	высокая стоимость; ограничения и квоты по потребляемой мощности.
	<i>Возможность использования автоматизированных систем</i>	
Гранулы древесные (пеллеты)	экологическая чистота; доступность; эстетическая ценность; удобство транспортировки; высокая теплотворная способность; очень малая зольность; естественный запах дерева; удобство и безопасность, при использовании автоматических котлов; поставщик – заводы России.	помещение для хранения.
	<i>Возможно использовать автоматизированные системы</i>	

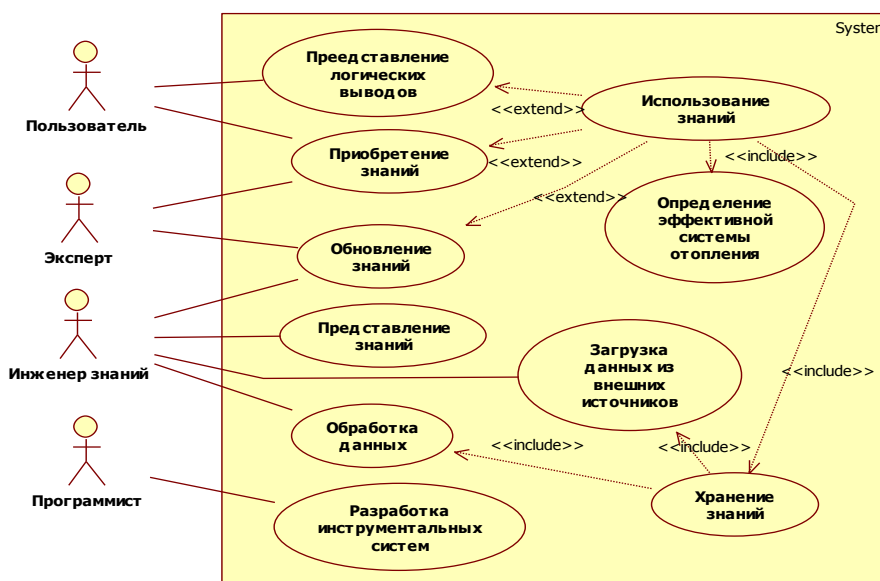


Рис. 3. Функциональная модель экспертной системы

Опираясь на мнения экспертов данной предметной области, создан алгоритм, с помощью которого можно успешно определить эффективную автономную отопительную систему (рис. 4,а) [11]. Сначала определяют назначение и тип помещения: жилое помещение, дача, промышленное помещение или склад. Далее необходимо рассчитать площадь помещения, определить возможность или наличие подключения к магистральному газу для определения подходящих видов топлива (есть ли место для его хранения, если требуется), отопительных устройств. Выявление климатических особенностей (рис. 4,б) является необходимым этапом, так как эти данные позволяют определить количество необходимой тепловой энергии в холодные месяцы, продолжительность отопительного сезона и возможность использования альтернативных источников энергии. Важными показателями для определения необходимости в установке данной системы являются средние месячные суммы поступающей солнечной радиации в конкретной местности [11].

На этапе разработки дерева решений, позволяющего на основе конечного множества атрибутов  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  однозначно определить вариант автономной отопительной системы  $T_i$  решаются следующие задачи формирования соответствующих множеств.

Пусть задано множество примеров  $T$ , где каждый элемент этого множества описывается  $m$  атрибутами. В рассмотренной задаче множество  $T$  – это множество вариантов отопительных систем, а  $X$  – множество характеристик этих систем (вид топлива, экологичность, экономичность и т.д.). Количество примеров в множестве  $T$  называется мощностью этого множества и обозначается  $|T|$ . Пусть метка класса принимает следующие значения  $C_1, C_2 \dots C_k$  [11]. В данном случае  $C_k$  – конкретный вариант автономной отопительной системы.

Рассмотрим три ситуации [11]:

– множество  $T$  содержит один или более примеров, относящихся к одному классу  $C_k$ . Тогда дерево решений для  $T$  – это лист, определяющий класс  $C_k$ ;

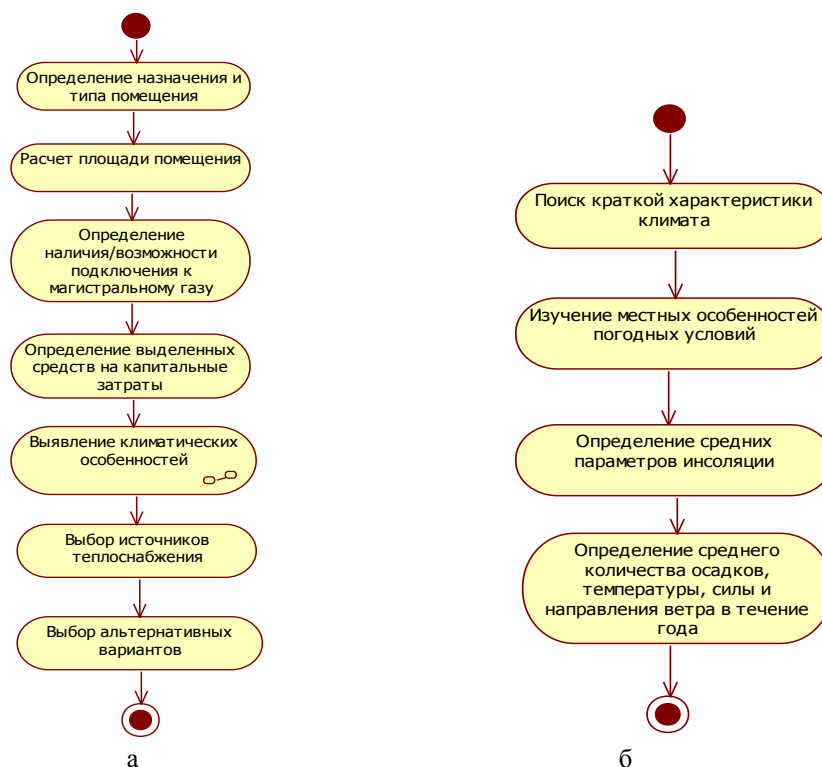


Рис. 4. Алгоритм выбора альтернативных вариантов систем отопления:  
 а – обобщенный алгоритм; б – определение климатических особенностей

– множество  $T$  не содержит ни одного примера, то есть  $T = \emptyset$  – пустое множество. Тогда это также лист, и класс, ассоциированный с листом, выбирается из другого множества, отличного от  $T$ , например, из множества, ассоциированного с родителем;

– множество  $T$  содержит примеры, относящиеся к разным классам. В этом случае следует разбить множество  $T$  на некоторые подмножества. Для этого выбирается один из признаков, имеющий два и более отличных друг от друга значений  $A_1, A_2, \dots, A_n$ . Например, паровая отопительная система может применяться только в промышленных помещениях, таким образом этот атрибут разделяет множество  $T$  на два класса (для промышленных и жилых помещений). Множество  $T$  разбивается на подмножества  $T_1, T_2, \dots, T_n$ , где каждое подмножество  $T_i$  содержит все примеры, имеющие значение  $A_i$  для выбранного признака. Это процедура будет рекурсивно продолжаться до тех пор, пока конечное множество не будет состоять из примеров, относящихся к одному и тому же классу.

Задача заключается в построении иерархической классификационной модели в виде дерева из множества примеров  $T$ . Процесс построения дерева производился сверху вниз. Сначала создается корень дерева, затем потомки корня [13].

На первом шаге дано пустое дерево (имеется только корень) и исходное множество  $T$  (ассоциированное с корнем). Требуется разбить исходное множество на подмножества. Это можно сделать, выбрав один из атрибутов в качестве проверки. Тогда в результате разбиения получаются  $n$  (по числу значений атрибута) подмножества и, соответственно, создаются  $n$  потомков корня, каждому из которых поставлено в соответствие свое подмножество, полученное при разбиении множества  $T$ . Затем эта процедура рекурсивно применяется ко всем подмножествам (потомкам корня) [13].

В соответствии с рассмотренным алгоритмом по методике [13] определено множество классов решений  $S_k$ , множество вариантов систем отопления  $T$  (например, водяные системы отопления с газовым источником нагрева, воздушные системы отопления с газовым источником нагрева, водяные системы отопления с солнечным источником нагрева и т.д.) и определено множество атрибутов  $X$  (площадь помещения, назначение помещения и т.д.) для построения деревьев решений.

Результатом этапа является разработанное дерево решений для выбора автономной системы отопления, фрагмент для жилых квартир, находящихся на стадии капитального ремонта либо проектирования, представлен на рис. 5.

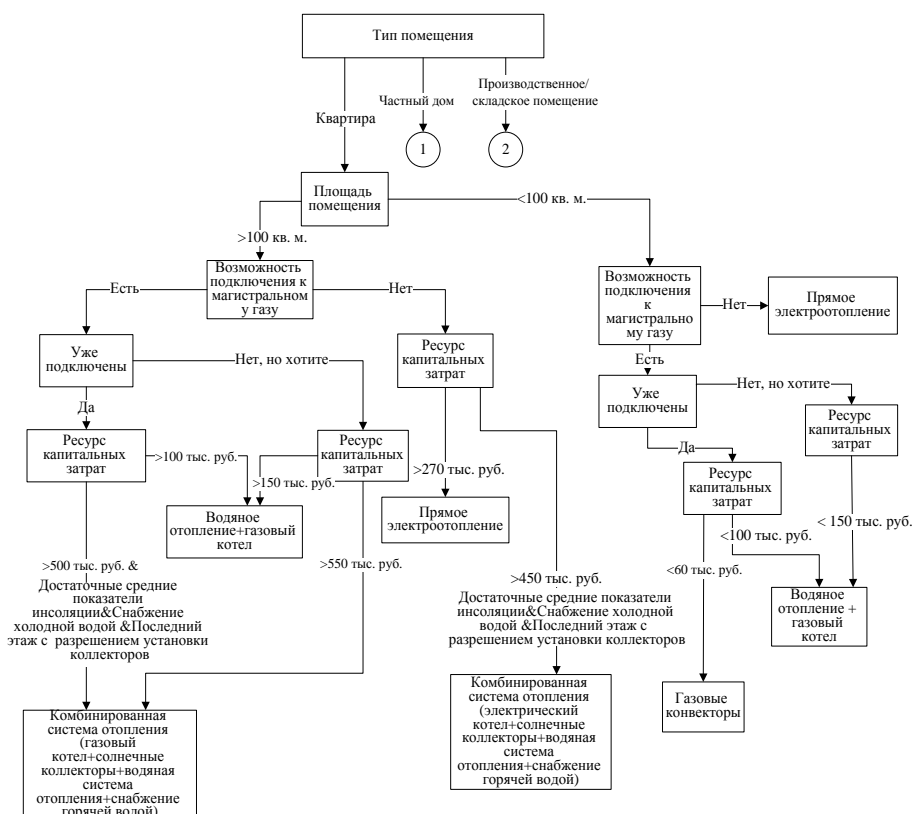


Рис. 5. Дерево решений для выбора эффективной отопительной системы (квартира)

В соответствии с построенным деревом решений разработан прототип экспертной системы на основе продукционной модели [13–20]. Научная ценность работы заключается в классификации существующих теплогенерирующих систем, позволившей определить множество атрибутов  $X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ , характеризующих здание и требования заказчика к системе отопления; разработке дерева решений, позволяющего однозначно определить наилучший вариант автономной отопительной системы  $T_i$ . Разработанное дерево решений и прототип экспертной системы отличаются от известных новой предметной областью знаний (автономные теплогенерирующие системы) [13–20, 25], и может быть использован организациями, занимающимися строительством, а также частными лицами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Преимущества и недостатки пеллетных каминов [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://okamine.ru/pelletnyj-kamin.html> (дата обращения: 10.05.2014).
2. Общие сведения о системах отопления [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.teplo3000.spb.ru/sistemy-otopleniya.asp#ds11> (дата обращения: 30.04.2014).
3. Солнечная система теплоснабжения [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.himinsolar.ru/4-solar-water-heating.html> (дата обращения: 21.03.2014).
4. Конвергентные инженерные системы на базе тепловых насосов [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aqabur.ru/index.php/kovergen-engineer> (дата обращения: 30.04.2014).
5. Отопление частного дома: как сделать правильный выбор [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nbsib.ru/news/71> (дата обращения: 30.04.2014).
6. Лучистое отопление [электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.hogart.ru/otoplenie/category\\_luchistoeotoplenie/](http://www.hogart.ru/otoplenie/category_luchistoeotoplenie/) (дата обращения: 30.04.2014).
7. Теплый плинтус [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn--itbkjcjcpkdxbjn8h.xn--p1ai/> (дата обращения: 21.03.2014).
8. *Петраков В.А., Сомов А.С.* Модели и алгоритмы принятия решений в управлении проектом // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5 (130). – С. 122-127.
9. *Петракова А.В.* Разработка алгоритма выбора автономной отопительной системы. Неделя науки 2014 // Сборник тезисов. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014.
10. Сравнение характеристик топлива [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://teplopellet.com/1308209436> (дата обращения: 30.04.2014).
11. Деревья решений – С4.5 математический аппарат [электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.basegroup.ru/library/analysis/tree/math\\_c45\\_part1/](http://www.basegroup.ru/library/analysis/tree/math_c45_part1/) (дата обращения: 24.04.2014).
12. *Tushkanov N. and other.* Multi-sensor system of intellectual handling robot control on the basis of collective learning paradigm // Advances in Intelligent and Soft Computing. – 2011. – Vol. 123. – С. 195-200.
13. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем: Учебник. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
14. *Bhattacharya S., Khoshmevisan M.* Fuzzy and Neutrosophic Cognitive Maps. – Изд-во Xiquan Phoenix, 2003. – 213 p.
15. *Джарратан Дж., Райли Г.* Экспертные системы: принципы разработки и программирование: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1152 с.
16. *Джексон П.* Введение в экспертные системы = Introduction to Expert Systems. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2001. – 624 с. – ISBN 0-201-87686-8.
17. *Таунсен К.* Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ: Пер. с англ. К. Таунсенд, Д. Фохт. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 320 с. ISBN 5-272-00071-4
18. *Уотермен Д.* Руководство по экспертным системам: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 388 с.
19. *Люгер Дж.Ф.* Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. – 4-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1152 с. ISBN 5-8459-0437-4
20. *Witten Ian H.* Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. – 3rd ed. / Ian H. Witten, Eibe Frank and Mark A. Hall – Morgan Kaufmann, 2011. – P. 664. – ISBN 9780123748560.
21. *Тейз А.* Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию: Пер. с франц. А. Тейз и др. – М.: Мир, 1990.
22. *Стерлинг Л., Шапиро Э.* Искусство программирования на языке Пролог. – М.: Мир, 1990.
23. *Маллас Дж.* Реляционный язык Пролог и его применение: Пер. с англ. / Под ред. В.Н. Соболева. – М.: Наука, 1990.
24. *Янсон А.* Турбо-Пролог в сжатом изложении. – М.: Мир, 1991.
25. *Джарратано Д., Райли Г.* Экспертные системы. Принципы разработки и программирование. – Изд. Вильямс, 2006.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Тарарыкин.

**Корохова Елена Вячеславна** – Южный федеральный университет; e-mail: alen\_ko@mail.ru; 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова 10, ауд. 505; тел.: 88632696991; кафедра системного анализа и управления; к.т.н.; доцент.

**Шабаршина Ирина Сергеевна** – e-mail: kaf\_sau@mail.ru; кафедра системного анализа и управления; к.ф.-м.н.; доцент.

**Петракова Анастасия Вадимовна** – студентка.

**Санина Алена Сергеевна** – студентка.

**Korohova Elena Viacheslavna** – Southern Federal University; e-mail: alen\_ko@mail.ru; 10, Milchakova street room 505, Rostov-on-Don, 344090, Russia; phone: +78632696991; the department of systems analysis and management; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Shabarshina Irina Sergeevna** – e-mail: kaf\_sau@mail.ru; the department of systems analysis and management; cand. of phis.-math. sc.; associate professor.

**Petrakova Anastasia Vadimovna** – student.

**Sanina Alena Sergeevna** – student.

УДК 621.314.1

**В.В. Корохов, Е.В. Корохова, А.А. Дьяченко, А.П. Постникова**  
**АНАЛИЗ И ВЫБОР ВАРИАНТА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**  
**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ХИМИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ТОКА**  
**НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

*Повышение эффективности проведения опытно-конструкторских работ требует применения современных методов моделирования на начальных этапах работы. В статье рассмотрены два варианта преобразователя постоянного тока – составной частью химического источника тока, предназначенного для электропитания аппаратуры космических аппаратов, которая характеризуется высокой мощностью энергопотребления. Традиционное выполнение разработки преобразователя тока в два этапа – эскизное и рабочее проектирование – требует значительных временных, финансовых и материальных ресурсов, при этом нет гарантии достижения положительных результатов испытаний разработанного устройства. Поэтому в работе предложен способ решения задачи выбора конструкции преобразователя постоянного тока с помощью имитационного моделирования. Такой подход позволяет значительно сократить этап эскизного проектирования или вовсе исключить его. Имитационное моделирование с применением современного пакета Multisim позволяет, используя встроенные базы стандартных электронных компонентов, а также путем задания параметров нестандартных узлов, разрабатывать электрические принципиальные схемы преобразователей и осуществлять анализ их работы без изготовления электродействующих макетов и определения их характеристик и свойств с помощью контрольно-проверочной аппаратуры. Данный программный пакет обеспечивает реализацию и проверку правильности работы предлагаемых алгоритмов функционирования узлов преобразователя. Для облегчения анализа результаты наглядно представлены в виде графиков изменения электрических параметров разрабатываемого устройства во времени. Таким образом, имитационное моделирование значительно уменьшает количество ошибок при проектировании, позволяет легко подготовить несколько вариантов конструкции преобразователя снизить затраты на макетирование и изготовление опытных образцов устройства, максимально сократить объем конструкторской документации и расчетов на начальном этапе разработки. Полученные с помощью имитационного моделирования технические характеристики преобразователя, помогут принять решение о продолжении разработки варианта устройства, наиболее полно отвечающего предъявляемым требованиям.*

*Имитационное моделирование; преобразователь постоянного тока; принятие решения.*